IV 6

1

Vortrag in d. Chem.-Physik. Gesellschaft in Wien

Über die Wärmeleitung in Gasen mit Rücksicht auf die kinet. Gastheorie

31/1 1899

Über die Wärmeleitung in Gasen ~~mit Rücksicht auf~~ vom Standpunkte der die kinetischen Gastheorie.

Die Erscheinungen der Wärmeleitung in Gasen, über welche ich heute sprechen will, bieten fast ausschliesslich ein theoretisches Interesse; ~~allerdings~~ in dieser Beziehung sind sie aber von ganz hervorragender Wichtigkeit, insbesondere für die kinetische Gastheorie. Diese hat überhaupt die Anregung gegeben zu den diesbezüglichen Untersuchungen. Es ist bekannt dass Maxwell 1860 die Existenz und absolute Grösse der Wärmeleitung auf theoretischem Wege berechnete, ~~und den~~ lange ~~bevor~~ bevor noch absolute Messungen auf diesem Gebiete gemacht worden waren. Erst 1872 gelang es Stefan, den absoluten Wärmeleitungscoefficienten zu bestimmen und er zeigte sich in der That von derselben Grössenordnung wie von Maxwell vorausgesagt worden war. Ebenso hatte Maxwell das merkwürdige Gesetz abgeleitet dass die Wärmeleitung, ebenso wie die innere Reibung vom Druck des Gases unabhängig sein müsse, welches thatsächlich durch spätere Untersuchungen innerhalb ziemlich weiter Grenzen ~~als richtig erkannt~~ bestätigt wurde. Soweit war also die Theorie Führerin gewesen; heutzutage ist die Sache wohl umgekehrt geworden, die Theorie hat in diesem Gebiete wenig Fortschritte gemacht, da man zu ~~weiteren~~ genaueren Berechnungen unbedingt der Kenntnis der Beschaffenheit der Moleküle, insbesondere der zwischen ihnen wirkenden Kräfte bedarf; dagegen ist die experimentelle Forschung erheblich ausgebildet

worden und man muss nun trachten umgekehrt ~~aus den~~ mit Hilfe der experimentellen Daten die Theorie auszubilden. Die Wärmeleitung ist, wie die innere Reibung und Diffusion, dazu besonders geeignet, denn sie ~~ist~~ steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Größe und Wirkungsweise der Gasmoleküle.

Es gibt ja Erscheinungen wie z.B. die ~~[illegible]~~ Abhängigkeit von Druck Vol. und Temp., welche in erster Annäherung von der Beschaffenheit der Moleküle unabhängig sind. Das ~~Gesetz~~ Boyle-Charles'sche Gesetz gilt unabhängig davon, erst die Correctionsglieder, welche an demselben angebracht werden müssen, also das a und b in der Van der Waals'schen Gleichung sind von der Größe und den Kräften der Moleküle abhängig.

~~Bei~~ Die Wärmeleitung ~~[illegible]~~ dagegen hängt direkt, gleich in erster Annäherung mit der Wirkungsweise der Moleküle zusammen. Sowohl die absolute Größe κ des Wärmeleitungs Coefficienten, wie insbesondere der Temperatur Coefficient desselben das γ in der Formel $\kappa = \kappa_0(1+\gamma\theta)$ ist davon abhängig ob die Moleküle sich wie elastische Kugeln verhalten oder ob sie sich nach irgend einer Function der Entfernung abstoßen etc.

~~Diese zwei Größen κ und γ sind bisher fast ausschließlich~~

Die experimentellen und theoretischen Untersuchungen haben sich bisher auf diese zwei Größen κ und γ beschränkt.

Bezüglich der Größe des Temperaturcoefficienten γ ist man nun noch zu keinem definitiven Resultate gelangt; die für Luft gefundenen

Werte schwanken zwischen 0·0018 und 0·0028 während nach der Theorie der elastischen Kugeln 0·0018, dagegen nach Maxwell's Theorie der reciproken fünften Potenz 0·0036 folgen würde.

Die Streit-Frage nach der absoluten Grösse von κ ist dagegen zu einem gewissen Abschlusse gelangt, indem der Winkelmann'sche Wert $\kappa_0 = 0{\cdot}000057$ als richtig anzunehmen ist. Die Maxwell'sche Theorie würde dagegen einen erheblich grösseren Werth cca 0·000080 liefern, sie stimmt also mit der Erfahrung nicht überein, für andere Wirkungsgesetze, wie z.B. das der elastischen Kugeln ist aber eine vollständig strenge, genaue Berechnung noch nicht durchgeführt.

Ich habe mich nun in den letzten Jahren mit einem neuen Gebiete der Wärmeleitung beschäftigt, nämlich mit den Erscheinungen, welche bei grösserer Verdünnung des Gases auftreten, und habe auch hier wieder eine qualitative Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment gefunden, welche einen frappanten Beweis für die Richtigkeit der allgemeinen Principien der Gastheorie bildet.

Eine genauere quantitative Untersuchung dieser Phänomene in theoretischer und experimenteller Hinsicht dürfte auch hier schliesslich zu Aufschlüssen über die specielle Wirkungsweise der Moleküle und insbesondere auch über die Beschaffenheit der Oberflächenschichten der festen Körper führen und insbesondere in letzterer Beziehung scheinen

mir diese Phänomene noch eingehenderer Betrachtung zu verdienen.

Bevor ich jedoch auf diese speciellen ~~Dinge~~ Fragen übergehe, möchte ich des Zusammenhangs wegen noch einige allgemeinere Betrachtungen über die experimentelle Untersuchungen der Wärmeleitung vorausschicken.

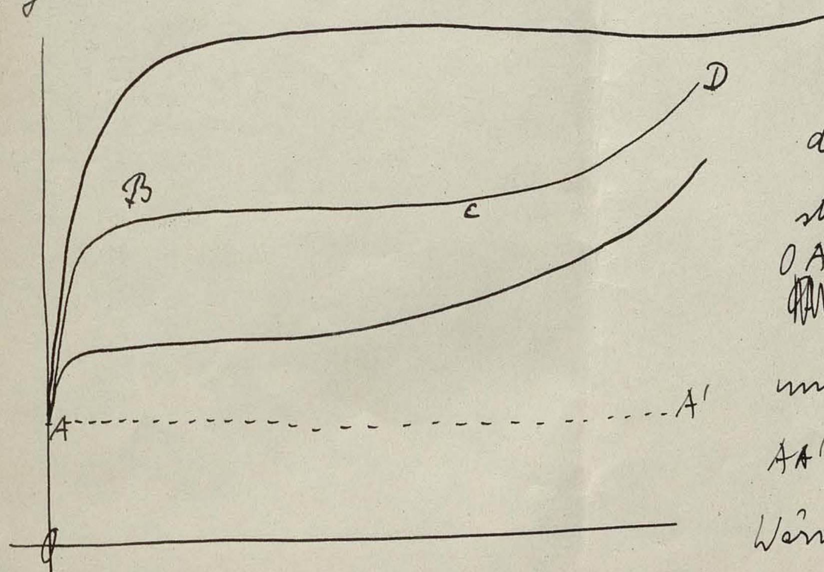
Die eigentliche Wärmeleitung in Gasen — analog wie in festen Körpern — ist nämlich nur ein idealer Fall, ~~welcher~~ da die thatsächlichen Verhältnisse immer durch die Strahlung und die Convectionsströmungen complicirt werden.

In der freien Atmosphäre, überhaupt in grösseren Gefäßen, findet die Wärmeübertragung fast ausschliesslich durch directe Strahlung und durch Convectionsströme statt. Die eigentliche Wärmeleitung steht nämlich im inversen Verhältnisse zu den Dimensionen ~~des~~ Gasraumes, während die Strahlung davon überhaupt unabhängig ist, falls nicht etwa das Gas absorbirend wirkt; die Convectionsströme dagegen nehmen zu mit Zunahme der Gefäßdimensionen, da die innere Reibung der Gase — welche der Ausbildung dieser Strömungen entgegenwirkt — dann eine geringere Wirkung hat.

Die normale Wärmeleitung kommt also erst bei Apparaten in Betracht, bei welchen die Gasschichte nur einige mm oder cm dick ist.

Den Einfluss der Convectionsströme ~~da~~ kann man nun noch dadurch dominiren, dass man das Gas verdünnt; denn der Auftrieb

welcher die Strömungen verursacht nimmt proportional dem Drucke ab, während die innere Reibung constant bleibt, und die strömende Wirkung einer gegebenen Strömung nimmt ebenfalls ~~#~~ mit der Dichtigkeit des Gases proportional ab. Die Wirkung der Convectionsströme nimmt also mit ~~wachsen~~ Abnahme des Druckes sehr rasch ab und kann von einem gewissen Grenzdrucke an (welcher von Form und Größe des Gefäßes abhängig) überhaupt vernachlässigt werden. Wenn man sich also die Quantität der von einer erwärmten Thermometerkugel an die Gefäßwände übergehenden Wärme als Function des Gasdruckes aufträgt, so erhält man Curven folgender Art.



Der Theil CD stellt die Wirkung der Convectionsströme vor, der Theil OA ~~AAA~~ dagegen die Strahlung und die Differenz zwischen AA' und BC die eigentliche (in diesem Theile) Wärmeleitung welche selbst vom Drucke unabhängig ist. Nach der Gastheorie ist dies ja ohne weitere Rechnung ganz plausibel, da mit Verdünnung des Gases zwar die Anzahl der Molecüle abnimmt, in demselben Masse dagegen

die mittlere Weglänge der Gasmolecüle zunimmt, und die Wärmeübertragung wird durch das Product aus diesen beiden Grössen bestimmt, welches somit constant bleibt.

Nimmt man ein grösseres Gefäss, so bleibt OA unverändert, die Intensität der Leitung ist geringer, dagegen werden die Convectionsströme schon bei geringeren Drucken merkbar und ihre Wirkung überhaupt grösser. Ich wandte dagegen einmal ein Gefässen mit einem Zwischenraume von bloss 2 mm und dabei blieb die Leitung bis zu Atmosphärendruck fast vollständig constant. Ähnliche Resultate fand Winkelmann für Luft und Äthylen (zwischen 760 mm und 10 mm Unterschied $< 0{\cdot}2\%$).

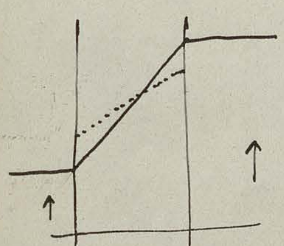
Der Theil rechts, von den Convectionsströmen herrührend, ist bisher immer nur als Störung betrachtet worden und ist noch wenig untersucht. ~~es[illegible] scheint sicher zu sein, dass~~ Dagegen erstrecken sich fast alle Untersuchungen auf den horizontalen Theil daran. Um die Wärmeleitung zu isolieren, muss man die Strahlung eliminieren. Das geschieht entweder, indem man die Luft vollständig auspumpt, oder indem man die mit Gefässen von verschiedenen Dimensionen angestellten Versuche mit einander vergleicht. (Figur)

Ich verlegte mich nun auf die Untersuchung des zu C hinunter sich absenkenden Theiles der Curven. Dass die Wärmeleitung der Gase bei grosser Verdünnung schliesslich bis Null abnehmen, war natürlich schon lange bemerkt

worden, so z.B. von Crookes, von Kundt & Warburg, ~~v.~~ Grätz u.a.
aber Niemand hatte ~~das Gesetz~~ dies näher untersucht oder ein Gesetz dafür aufgestellt, obwohl ja dies mit der früher erwähnten theoretischen Folgerung, dass k vom Gasdruck unabhängig sein müsse, im Widerspruch zu stehen scheint.

~~Es gilt~~ Auch hier sollte die Gastheorie ~~[illegible]~~ als Wegweiser bei der Untersuchung dienen. Eine analoge Erscheinung besteht nämlich bei der inneren Reibg.

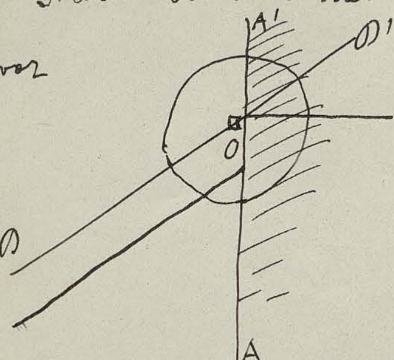
Bewegen sich zwei verticale Platten mit verschiedener Geschwindigkeit,



so ist das Geschwindigkeits Gefälle des Gases zwischen ihnen ein lineares. Wird das Gas verdünnt, so bleibt die innere Reibg derselben constant, bei größten Verdünnungen tritt aber ein Gleiten des Gases längs der Oberfläche auf, so dass dann die Geschwindigkeitslinie die Lage ..... annimmt. Analog könnte man nun hier annehmen, dass auch bei der Wärmeleitg ein endlicher Temperatursprung an der Grenzfläche zwischen Gas und festem Körper stattfindet, und thatsächlich ist auch die Vermuthung, dass etwas derartiges bestehen könnte, auch einmal bereits von Kundt & Warburg geäussert worden.

Es ist nun aus der Gastheorie leicht der Nachweis zu liefern, dass thatsächlich dieser Temperatursprung stattfinden muss.

Stellen wir uns nämlich ein lineares Temperaturgefälle in einem Gase vor



dann ist die Temperatur in einem Volumelement an der Stelle . bestimmt als Mitteltemperatur der Moleküle welche von links hineinfliegen und derjenigen die von rechts hineinfliegen. Die von links kommenden sind kälter, die von rechts kommenden sind wärmer; nun schieben wir aber plötzlich einen starren Körper hinein AA', der eine Temperatur hat, die gerade dem Schnittpunkt entsprechen würde

Dann wird die Temp in O nicht unverändert, sondern wird sinken, denn von links kommen immer noch dieselben kälteren Moleküle, von rechts kommen nur diejenigen die von der Wand AA' abgeprallt sind, und diese können höchstens die Wandtemperatur haben. Es wird also ein Überschuss von kälteren Molekülen sein, die Temperatur der Gasschichte muss sinken bis wieder Gleichgewicht besteht. Vermehrt wird der Temperatursprung noch dadurch dass die an die Wand anprallenden Moleküle im Allgemeinen nicht sofort [beim ersten Anstoße] deren Temperatur annehmen werden.

Man sieht schon nach einer solchen beiläufigen Überlegung ein, dass die Grösse des Temperatursprunges der mittleren Weglänge d.i. dem Radius des Kreises, andererseits aber dem Temperaturgefälle $\frac{\partial \vartheta}{\partial x}$ in der Nähe der Wand selbst proportional sein wird, also $\Delta \theta = -A \lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x}$

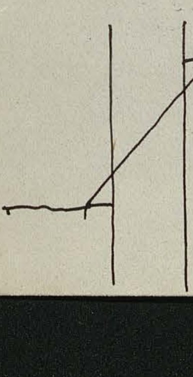
Ich habe in letzter Zeit eine genauere Berechnung auf Grundlage zweier Theorien, sowohl der Clausius'schen von den elastischen Kugeln, wie der Maxwell'schen von Kräften, welche nach dem Gesetze $\frac{1}{r^5}$ wirken, durchgeführt, und bin in beiden Fällen auf Gesetze derselben Form gekommen; nur der Werth der Constanten A ist etwas verschieden.

Im ersteren Falle $A = \left[0{\cdot}70 + \frac{4\beta}{3(1-\beta)}\right]$

zweiten Falle $A = \frac{15}{4\pi}\left(1 + \frac{2\beta}{1-\beta}\right)$

β bedeutet einen vorderhand noch unbestimmt gelassenen Factor, welcher bestimmt, welchen Bruchtheil ihrer Temperatur die an die Wand anprallenden Moleküle an dieselbe abgeben.

Diese Gleichung $\Delta\theta = -A\lambda \frac{\partial\vartheta}{\partial x}$ hat ganz die Form der Poisson'schen Grenzbedingung $\Delta\theta = -\gamma \frac{\partial\vartheta}{\partial x}$ welche Poisson in seiner Wärmeleitungstheorie hypothetisch, von gewissen Überlegungen ausgehend, auf die ich jetzt nicht eingehen kann, aufgestellt hat. Das kommt in unserem Falle, wo der Wärmeübergang zwischen parallelen Platten erfolgt, darauf hinaus, dass die Wärmeleitung so erfolgt, als ob die Wände um die Distanz γ zurückgeschoben wären

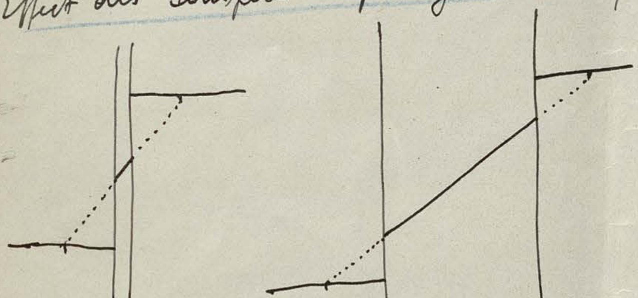


γ ist dabei also proportional der mittleren Weglänge und von derselben Größenordnung, also verkehrt proportional dem Gasdrucke, woraus sofort folgt, dass diese Erscheinungen erst

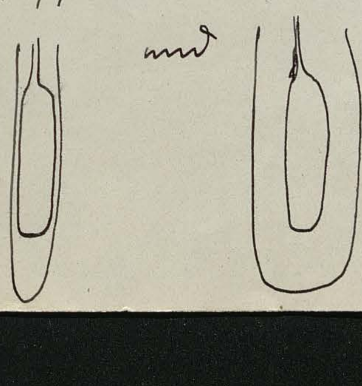
bei grösster Verdünnung merkbar werden.

Trotzdem der ~~[illegible]~~ Werth der Constanten A resp. γ theoretisch noch nicht genau abgeleitet werden kann, insbesondere da uns die Beschaffenheit der ~~[illegible]~~ Oberflächen der festen Körper zu wenig genau bekannt ist, kann man aus ~~sind in~~ dieser Gleichung zwei ~~[illegible]~~ Folgerungen ziehen, die experimentell genau geprüft werden können.

1). Je kleiner der Gaszwischenraum ist, desto grösser muss der Effect des Temperatursprunges sein, also wird er sich auch in kleinen



Gefässen schon bei viel höheren Drucken bemerkbar machen, als in grossen Gefässen. ~~[illegible]~~ [Das je in ~~[illegible]~~ beiden Fällen, für welches man gleiche Gasdrucke berechnet, muss aber gleich gross sein]. Würde dagegen die Abnahme der Wärmeleitung von einer Verminderung des K herrühren, wie man früher meistens geglaubt hatte, so müsste sie ganz parallel gehen in ~~[illegible]~~ grossen und kleinen Gefässen. Ich habe nun zwei Versuchsreihen angestellt mit Apparaten von der Form



und wobei im zweiten Fall der Gaszwischenraum 5mal so gross war wie im ersten

Dabei fand ich nun thatsächlich z. B. bei Luft im kleinen Gefäß bei höherem Druck als normale Abklinglszeit 184 sec.

von cca 10 mm eine merkliche Abnahme, z. B. 202·4 sec. bei 0·90 mm
$\frac{202·4}{18·4} = 10\%$

Dagegen im größten Gefäß normal 380·2 sec.

bei 0·80 mm $\frac{388·4}{8·2} = 5\%$

Wenn man die Strahlung diminuirt, so wird das Verhältnis noch auffallender, es beträgt dann die Verminderung im ersten Falle 12% im zweiten 4%, also die Wirkung im kleinen Gefäß dreimal so groß. ~~Somit~~ Dagegen wären die berechneten μ in beiden Fällen gleich groß wie ich sofort noch zeigen werde.

2). Das μ welches man aus den Versuchen berechnet muss von ähnlicher Größenordnung sein wie λ, also das Product μp muss oder auch $\frac{\mu}{\lambda}$ constant bleiben. Thatsächlich fand ich z. B. im engen Gefäße

von	184[x]	187·8	202·4	320·0	644·1	788
p =	710 bis 41	4·74	0·90	0·095	0·0086 mm	0
~~μp~~ $\frac{\mu}{\lambda}$ =		1·69 | 1·58 |	1·61 | 1·64 | 1·64 |	1·58 | 1·61 | 1·57 |	1·59 | 1·67 |	1·72 |

Mittel 1·62 im weiten Gefäße 1·78

also im Mittel $\mu = 1·70\,\lambda = 0·0000171 \cdot \frac{760}{p}$ cm

also ausgezeichnete Übereinstimmung.

Ähnliche Übereinstimmung für Wasserstoff, bei welchem μ merkwürdig groß $\mu = 6·96\,\lambda$

Die Formel, welche in den Fällen zur Berechnung ~~abgeleitet~~ verwendet wurde, lässt sich leicht in der gewöhnlichen Weise ableiten, wenn man die beiden Grenzbedingungen $\Delta\vartheta = -\gamma \frac{\partial \vartheta}{\partial x}$ berücksichtigt; man erhält dann Wärmeleitung

$$L = \frac{2\pi l k}{\log\frac{R}{r} + \gamma\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)}$$ oder umgekehrt $$\gamma = \frac{\log\frac{R}{r}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}}\left(\frac{L}{L_0} - 1\right)$$

Zur selben Zeit, als ich diese Untersuchungen in Wied. Ann. veröffentlichte, erschien im Phil. Mag. eine Arbeit von Brush — dem Entdecker des angeblichen neuen Gases Etherion, auf welches ich noch zu sprechen kommen werde. Derselbe publicirte ein umfangreiches Beobachtungsmaterial über Abkühlung von Thermometern in Gasen von verschiedener Verdünnung von Atmosphärendruck angefangen bis zu ~~d~~ zum größten Vacuum, leider jedoch nur in Gestalt von Curven; [theoretische Erklärungen oder mathematische Formulierungen wurden von ihm nicht versucht]. Ich habe dann gezeigt, im Phil. Mag., dass diese seine Versuche mit den meinigen in bester Übereinstimmung stehen, so dass sich auch ~~die Constanz von~~ ein ähnlicher Werth von γ ausrechnen lässt, und die Constanz des Productes γp geprüft werden.

Ich fand nun bei einer genaueren Durchsicht der Litteratur, dass man selbst schon aus den alten Versuchen von Winkelmann (1876) diesbezügliche Schlüsse ziehen könne.

Er findet für Wasserstoff bei einer Dicke der Gasschichte von 0·314 cm

für die übertragene Wärmemenge

Druck:	91·9* mm	4·7	3·0	1·92 mm
L	290	258	245	216

Daraus ~~folgen für~~ berechnen sich für γ und γp folgende Werte:

γ	0·0195	0·0288	0·0538	
γp	0·0916	0·0864	0·1003	~~Mittel~~ 0·0928

woraus für γ der Wert $0{\cdot}000122\ \text{cm.} \cdot \frac{760}{p}$ = ca = 6·6 λ folgt

also in Anbetracht der Ungenauigkeit jener Versuche sehr befriedigend.

Noch ~~auffallender war es~~ bemerkenswerter scheint mir aber der Umstand, dass durch diesen Temperatursprung die Experimente von Schleiermacher (1888) über galvanische Erwärmung von Drähten, ~~welche~~ erklärt werden, welche früher insofern als ganz anomal betrachtet wurden, als bei diesen der Einfluss der Verdünnung des Gases schon bei relativ sehr hohen Drucken (20 mm bei Luft und 40 mm bei Wasserstoff) sich zeigte.

Man sieht nämlich, dass in obiger Formel der Einfluss von γ desto grösser wird, je kleiner das r, er muss also besonders gross werden, wenn an Stelle des Thermometers ein dünner Draht verwendet wird wie dies eben in Schleiermacher's Versuchen der Fall ist.

Auch die quantitative Übereinstimmung ist sehr befriedigend

Während beobachtet wurde

$p = 91 \quad 22 \quad 5{\cdot}2 \quad 1{\cdot}2 \quad 0{\cdot}3$

$L = 2138 \quad 2121 \quad 2071 \quad 1867 \quad 1344$

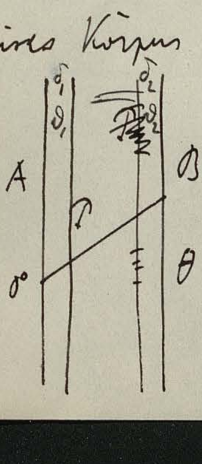
ergibt sich aus obiger Formel unter Annahme $\gamma = 1{\cdot}6\,\lambda$:

$L =$ ~~[illegible]~~ $\quad 2121 \quad 2069 \quad 1867 \quad 1353$

Ähnlich für Wasserstoff.

Es würde nun interessant sein, wenn man diesen Temperatursprung auch in anderer Weise, durch directe Temperaturmessung, nachweisen könnte.

Ich glaube dass dies theoretisch wohl möglich sein dürfte, wenn man z.B. die Änderung des Refractionsindex der Gase mit steigender Temperatur benützt, aber die practische Ausführung dieser Versuche dürfte ungemein schwierig sein. Näher liegend wäre die Methode, dass man einen Körper resp. ein Thermoelement zur Temperaturmessung in die Gasschichte zwischen zwei Platten von verschiedener Temperatur eintaucht, allerdings muss man dann aber berücksichtigen, dass auch an der Oberfläche dieses Körpers selbst ein Temperatursprung stattfindet.



Wenn kein Temperatursprung existiert, also bei höheren Drucke ist die Temperatur einer eingedrückten Platte P bestimmt als

$\vartheta_1 : \vartheta_2 = \delta_1 : \delta_2$

~~$\vartheta = \frac{\delta_1}{\delta_1 + \delta_2}\,\Theta$~~, da das ϑ Gefälle linear ist.

Wenn dagegen bei größeren Verdünnung ein Temperatursprung

entsteht, so hat dies den Effekt, als ob die Entfernungen δ_1 und δ_2 um je 2γ vermehrt wären also

$$\vartheta_1 : \vartheta_2 = \delta_1 + 2\gamma : \delta_2 + 2\gamma$$

~~$\delta_1 + \delta_2 + 4\gamma$~~

es wird also ihre Temperatur mehr der arithmetischen Mitteltemperatur ~~zwischen~~ der ~~den~~ beiden Platten genähert. ~~Es~~. Aus Beobachtung von ϑ kann daher wieder das γ berechnet werden, etwas complicirter wird die Gleichung in Wirklichkeit infolge der Berücksichtigung der Strahlung.

Um diesen Fall zu realisiren, benützte ich einen Apparat folgender Art:

In der Mitte ein Messinghohlcylinder, der durch circulirendes Wasser auf ca 80° erhalten wurde; befindet sich ~~auf~~ innerhalb eines ~~zw~~ zweiten Messinghohlcylinders, der durch Wasser auf Zimmertemperatur erhalten wird, in den Hohlraum der oben und unten durch Ebonitstücke abgeschlossen ist, wird das Gas eingefüllt. ~~Um die~~ Zwischen den beiden Cylinderflächen wird nun ein cylinderförmiger Kupferblechring befestigt, an welchem zwei als Thermoelement dienende Drähte aus Fe und Neusilber befestigt sind, ebenso ein Paar solcher Drähte mit Innenfläche von A und Aussenfläche von B befestigt, alle in Verbindung mit einem Galvanometer, dessen Ausschläge direct den Temperaturdifferenzen proportional sind. Es ergab sich nun thatsächlich, dass von ~~grossen~~ Drucken von einigen mm die Temp. des Ringes sich der Mitteltemp-

zu nähern begann und die γ, welche daraus berechnet wurde, waren von ganz ähnlicher Größenordnung, wie die früher mittelst anderer Methoden gefundenen. Auch die Constanz des Productes γp war constatirbar soweit ~~befriedigend~~ als die Genauigkeit der Versuche reichte.

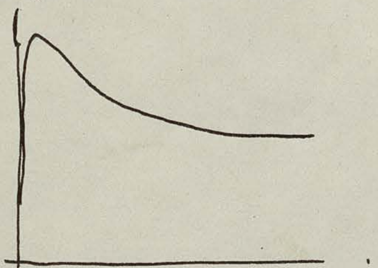
Nr. ~~Vernickelt~~ Vergoldet Luft

$p =$	$\gamma p =$
22.5	0.0116
1.6	112
1.2	118
0.9	102
0.27	
	0.0112

Vernickelt	H_2:	0.000112
	L	0.0000153
	CO_2	0.0000123
Vergoldet	H_2:	0.0000788
	L	0.0000147
	CO_2	0.0000107

Es ist wohl überflüssig, dass ich weitere Zahlen aufschreibe, nur eine Modification dieser Versuche möchte ich noch erwähnen, da sie einen besonders frappanten Beweis für die Richtigkeit dieser Anschauungen bietet. Wenn man nämlich die Innenflächen mit Tusche schwärzt und Wasserstoff verwendet, so haben wir den Fall, dass unter normalen Verhältnissen die ~~W~~ Wärmeleitung weitaus über die Wärmestrahlung überwiegt; es wird also, sobald der Temperatursprung merklich wird, die Temp. der Platte sich dem Mittel nähern, also steigen. Bei successiver Evacuirung nimmt dann die Wärmeleitung immer mehr ab, so dass sie schließlich gegenüber der Strahlung der Innenflächen verschwindet, diese bewirkt aber, dass die Temp der Platte sich wieder der unteren Grenze nähert, daher muss falls unsere Anschauungen richtig sind,

dieser Temperatur einmal ein Maximum erreichen. Würde dagegen die Abnahme der Wärmeleitung nicht vom Temperatursprunge sondern von einer Abnahme des k herrühren, so müsste die Temp. von P continuirlich abnehmen Das Experiment zeigt nun dass thatsächlich eine Temperatur-Curve der Art mit einem Maximum entsteht.



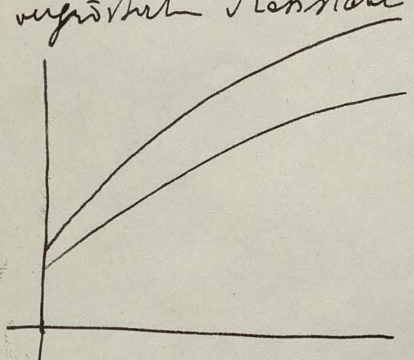
Es erscheint also die Annahme eines Temperatursprunges, welcher proportional ist dem Temperaturgefälle und der mittleren Weglänge in allen Punkten experimentell bestätigt, ~~als~~ und es bietet dies jedenfalls wieder einen neuen Beweisgrund für die Richtigkeit der kinetischen Gastheorie, da man sich nach anderen Theorien wohl kaum erklären kann, warum sich Gase in den Oberflächenschichten anders verhalten sollten als im Inneren und warum ihre physikalischen Constanten von der Dicke der Gasschichte abhängig sein sollten.

Mit einigen Worten möchte ich nun noch auf die früher erwähnte angebliche Entdeckung Brush's zurückkommen, da sie ja mit unserem Gegenstande in unmittelbarer Beziehung steht.

Alle unsere Gesetze bezüglich des Temperatursprunges sind auch nur innerhalb gewisser Grenzen giltig; sie werden ungenau, wie man aus

theoretischen Überlegungen leicht einsieht, sobald die Verdünnung so groß ist, dass die mittlere Weglänge der Gasmolecüle ~~gleich der~~ größer ~~von ähnlicher Größenordnung~~ wird wie die Gefäßdimensionen. ~~Wenn sie ein~~ Es treten dann sehr complicirte Verhältnisse ein und erst wieder bei den allergrößten Verdünnungen wird die Sache einfach, dann muss die Wärmeleitung proportional dem Drucke abnehmen.

Brush ist bei den früher erwähnten Versuchen bis zu den größten Verdünnungen vorgeschritten und die Curven, die er zeichnet, werden thatsächlich in der Nähe des Nullpunktes merklich linear, also in vergrößertem Maßstabe:



bei Drucken von einigen ~~Atm[illegible]~~ Tausendstel mm

Er fand nun, dass die Wärmeleitung auffallend vergrößert wurde, sobald die Glaswand oder noch besser Glaspulver zur Rothglut erhitzt wurde, d. h. sie wurde viel größer als man sie sonst bei gleichem ~~[illegible]~~ gemessenem Drucke beobachtete, blieb aber immer viel kleiner als die Wärmeleitung unter normalen Verhältnissen. ~~Er meinte nun dass~~

~~Er~~ Dies hielt ~~[illegible] man~~ er für einen Beweis, dass dabei ein neues Gas, Etherion, von enormer Wärmeleitungsfähigkeit entwickelt werde,

und stellte nun höchst abenteuerliche Speculationen über seine voraussichtliche Dichte, seine Molekulargeschwindigkeit etc. an, ~~viele Eigenschaften~~ seine Dichte schätzte er voraussichtlich zu $\frac{1}{100}$ von H_2, seine Molekulargeschwindigkeit zum 10000 fachen ~~H~~ von H_2 etc. ja er glaubte dass dies sogar der lange gesuchte Lichtäther sei, und diese Entdeckung ~~H~~ wurde sofort als bare Wahrheit in allen Zeitschriften der Welt verbreitet.

Es scheint mir nun evident, dass die ganze Sache auf einem Versehen von Brush beruht, indem er den Druckangaben seines Macleod-Manometers zu viel Vertrauen schenkte. Es ist ja eine bekannte Thatsache, dass Glas beim Erhitzen Wasserdampf abgibt, Kundt & Warburg haben dieselbe Erscheinung wie Brush schon 1876 beobachtet und dieselbe auf Entstehen von Wasserdampf zurückgeführt, ~~Crookes~~ Warburg & Ihmori haben später diese Wasserhaut der Glasgefässe noch eingehend untersucht, Crookes hat sogar spectroskopisch Nachweis dafür geliefert. Wenn nun Wasserdampf in den Gefässen vorhanden ist, so wird durch ein Macleod-Manometer offenbar der Druck desselben nicht angezeigt, da sich ja der Wasserdampf beim Comprimieren wieder condensiert, es wird also nur der Partialdruck der Luft angezeigt. Während also Brush ~~B.~~ glaubte ~~H~~ einen Druck von 0·002 mm Luft zu haben, hatte er in Wirklichkeit ~~H~~ vielleicht

0'002 mm Luft; ausserdem aber noch vielleicht zehnmal soviel Wasserdampf und da ist es ganz natürlich, dass er so grosse Wärmeleitung erhielt. Getrocknet hat er sein Gas nicht, da er selber angibt, dass es von P_2O_5 (CaCl) begierig absorbirt wird, ferner dass es wieder mit der Zeit verschwindet sobald das Gefäss abgekühlt — alles wird also vollkommen ~~durch die Gegenwart von Wasserdampf~~ dadurch erklärt, wenn man sein Etherion mit dem gewöhnlichen H_2O identificirt. Jedenfalls ist bis heute kein stichhaltiges Argument für das Gegentheil erbracht, und es scheint gerathen, dass man sich in dieser Sache einstweilen sehr skeptisch verhält (Crookes in London eine Meinung welche ja auch und Dorn in Berlin geäussert hatten.

Auf die theoretischen Folgerungen Brush's einzugehen, kann ich mir wohl ersparen. Sie sind auf Beobachtungen zwischen 0 und 1 mm Druck basirt, obwohl er selbst gefunden hat, dass sich hiebei Apparate verschiedener Dimensionen verschieden verhalten; hätte er anders dimensionirte Apparate benützt, hätte er auch ganz andere Resultate erhalten.

Diese Untersuchungen bei den grössten Verdünnungen also von cca 0'01 mm abwärts genauer auszuführen wäre sehr verdienstvoll, es wird dies aber viel Schwierigkeiten verursachen, namentlich infolge der unvollkommenen Wirkungsweise unserer Quecksilberpumpen, welche kein grösseres Vacuum erzeugen können, als das dem Quecksilberdampfdruck entsprechende